

## ***Esercizi Svolti di Idrologia***

### ***Problemi di bilancio idrologico***

#### ***Problema 1***

*Alla sezione di chiusura di un bacino idrografico di 20 km<sup>2</sup> di superficie è stata registrata una portata media annua di 0.6 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. La precipitazione totale annua ragguagliata sull'area del bacino è pari a 1500 mm. Assunte trascurabili le variazioni di invaso, calcolare l'entità delle perdite per evapotraspirazione (in mm).*

*Soluzione:*

*altezza di evapotraspirazione: 554mm*

#### ***Risoluzione del problema***

*Il valore di deflusso viene convertito in mm, nel modo seguente:*

$$Q = (0.6 \cdot \text{numero sec in un anno}) / \text{area bacino} =$$
$$\frac{0.6 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365}{20 \cdot 10^6} = \frac{18.9216 \cdot 10^6}{20 \cdot 10^6} = 0.946m = 946mm$$
$$\Rightarrow ET = P - Q = 1500 - 946 = 554mm$$

#### ***Problema 2***

*Alla sezione di chiusura di un bacino idrografico di 200 km<sup>2</sup> di superficie è stata registrata una portata media annua di 6.0 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. La precipitazione totale annua ragguagliata sull'area del bacino è pari a 1600 mm. Assunte trascurabili le variazioni di invaso, calcolare l'entità delle perdite per evapotraspirazione (in mm).*

*Soluzione:*

*altezza di evapotraspirazione: 654mm*

#### ***Risoluzione del problema***

*Il valore di deflusso viene convertito in mm, nel modo seguente:*

$$Q = (6.0 \cdot \text{numero sec in un anno}) / \text{area bacino} =$$
$$\frac{6.0 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365}{200 \cdot 10^6} = 0.946m = 946mm$$
$$\Rightarrow ET = P - Q = 1600 - 946 = 654mm$$

### **Problema 3**

Alla sezione di chiusura di un bacino idrografico di  $40 \text{ km}^2$  di superficie è stata registrata una portata media annua di  $1.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . La precipitazione totale annua ragguagliata sull'area del bacino è pari a  $1200 \text{ mm}$ . Assunte trascurabili le variazioni di invaso, calcolare l'entità delle perdite per evapotraspirazione (in  $\text{mm}$ ).

Soluzione:

altezza di evapotraspirazione:  $254 \text{ mm}$

### **Risoluzione del problema**

Il valore di deflusso viene convertito in  $\text{mm}$ , nel modo seguente:

$$Q = (1.2 \cdot \text{numero sec in un anno}) / \text{area bacino} =$$

$$\frac{1.2 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365}{40 \cdot 10^6} = 0.946 \text{ m} = 946 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ET = P - Q = 1200 - 946 = 254 \text{ mm}$$

### **Problema 4**

Per un bacino idrografico di  $150 \text{ km}^2$  è stato stimato un afflusso meteorico medio annuo pari a  $1300 \text{ mm}$ . Le perdite per evapotraspirazione potenziale sono quantificate in  $550 \text{ mm}$ , mentre quelle per evapotraspirazione reale sono quantificate in  $300 \text{ mm}$ . Calcolare il coefficiente di deflusso medio annuo, assunte trascurabili le variazioni di invaso, e calcolare la portata media in  $\text{m}^3 / \text{s}$ .

### **Risoluzione del problema**

Coeff deflusso:  $1000 / 1300 = 0.77$

Portata media annua:  $4.76 \text{ m}^3 / \text{s}$

Calcolo della portata media annua:

$$Q = (\text{altezza deflusso} \times \text{area bacino}) / (\text{numero sec in un anno}) =$$

$$\frac{1 \cdot 150 \cdot 10^6}{3.6 \cdot 10^3 \cdot 24 \cdot 365} = 4.76 \text{ m}^3 / \text{s}$$

### Problema 5

Un bacino di  $50 \text{ km}^2$  è monitorato da tre stazioni pluviografiche, per le quali la precipitazione media annua registrata è pari a:

Stazione 1: 2500 mm

Stazione 2: 1200 mm

Stazione 3: 950 mm.

Si impieghi il metodo di Thiessen per calcolare la precipitazione media annua, sapendo che i ponderatori sono i seguenti:

Stazione 1: 0.7

Stazione 2: 0.2

Stazione 3: 0.1.

Per lo stesso bacino, le perdite per evapotraspirazione (reale) sono quantificate in 400 mm, mentre quelle per evapotraspirazione potenziale sono valutate in 900 mm. Calcolare il coefficiente di deflusso medio annuo, assunte trascurabili le variazioni di invaso. Calcolare inoltre la portata media annua in uscita al bacino, in  $\text{m}^3/\text{s}$ .

#### Soluzione

Precipitazione media annua: 2085 mm:

Coeff. Deflusso: 0.81

Portata media annua:  $2.67 \text{ m}^3/\text{s}$

Risoluzione del problema

Il valore della precipitazione media areale viene calcolata nel modo seguente:

$$h_{\text{media\_areale}} = h_{\text{stazione 1}} \cdot \text{Pond}_{\text{stazione 1}} + h_{\text{stazione 2}} \cdot \text{Pond}_{\text{stazione 2}} + h_{\text{stazione 3}} \cdot \text{Pond}_{\text{stazione 3}}$$
$$= 2500 \cdot 0.7 + 1200 \cdot 0.2 + 950 \cdot 0.1 = 2085 \text{ mm}$$

Il valore del deflusso medio annuo viene calcolato nel modo seguente:

$$Q = P - ET = 2085 - 400 = 1685 \text{ mm}$$

Coefficiente di deflusso:  $1685/2085=0.81$

La portata media annua in  $\text{m}^3/\text{s}$  viene calcolata nel modo seguente:

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = (\text{altezza deflusso} \cdot \text{area bacino}) / (\text{numero secondi anno}) =$$
$$= 1685 \text{ mm} \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 10^6 / (365 \cdot 24 \cdot 3600) = 2.67 \text{ m}^3 / \text{s}$$

### **Problema 6**

Si consideri un invaso artificiale, alimentato da un bacino idrografico di estensione pari a  $200 \text{ km}^2$ . E' stato calcolato che, durante un evento di piena, l'afflusso efficace durante l'ora  $i$ -esima sia stato pari a  $10 \text{ mm}$ . Durante la stessa ora, il volume dell'acqua invasata nel bacino artificiale è aumentato di  $1.815 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Si calcoli la portata media effluita dall'invaso artificiale durante l'ora  $i$ -esima. Si trascurino le perdite per evapotraspirazione e per deflusso di falda (ma si commenti la ragionevolezza di tale ipotesi).

*Soluzione:*

portata media:  $51.4 \text{ m}^3/s$

Risoluzione del problema:

per il calcolo del volume effluito dall'invaso artificiale, applico l'equazione di continuità nel modo seguente:

$$\Delta V = V_{in} - V_{out}$$

e quindi

$$V_{out} = V_{in} - \Delta V$$

Dove:

$V_{in}$  = Volume in ingresso all'invaso;

$V_{out}$  = Volume defluito

$\Delta V$  = variazione di invaso.

Il volume in ingresso è pari a:

$$V_{in} = \text{area bacino} \cdot h_{deflusso} = 2 \cdot 10^8 \cdot 0.01 = 2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Dalla differenza tra volume affluito e quello invasato nel lago ricavo il volume defluito complessivamente:

$$V_{out} = V_{in} - \Delta V = 2 \cdot 10^6 - 1.815 \cdot 10^6 = 0.185 \cdot 10^6$$

La portata mediamente defluita è quindi pari a:

$$Q_{out} = V_{out} / \text{tempo} = 0.185 \cdot 10^6 / 3600 = 51.4 \text{ m}^3 / s$$

## Misure idrologiche

### Problema 7

La scala delle portate del fiume Brenta alla sua sezione idrometrica di Barzizza si può scrivere come segue:

$$Q = 93.98 \cdot (h - 0.27)^{1.7691} \quad \text{se } h < 1.97 \text{ m}$$

dove  $Q$  è la portata in  $\text{m}^3/\text{s}$  ed  $h$  è l'altezza idrometrica misurata dallo strumento in  $\text{m}$ .  
Calcolare il valore di portata corrispondente ad un'altezza idrometrica pari a  $h=1.5 \text{ m}$ .

Soluzione:

portata:  $135.5 \text{ m}^3/\text{s}$

## Problemi di valutazione delle piene: calcolo del deflusso

### Problema 8

Si consideri un evento di precipitazione, caratterizzato dal seguente ietogramma (si riportano i valori di precipitazione media areale cumulata durante le singole ore):

ora 1: 5.0 mm

ora 2: 30.5 mm

ora 3: 23.5 mm

Si calcoli il valore di deflusso (in mm), generato in ciascuna ora, utilizzando il metodo del CN (curve number), assumendo per CN un valore pari a 75 ed utilizzando per le perdite iniziali la relazione  $I_a = 0.1S$ .

Soluzione:

deflusso:

ora 1: 0 mm;

ora 2: 6.54 mm;

ora 3: 12.34 mm.

### Risoluzione del problema

Il calcolo viene effettuato ripetendo l'applicazione della formulazione per ciascuna cumulata oraria progressiva di pioggia, ottenendo la cumulata progressiva di deflusso, e quindi sottraendo a ciascuna cumulata progressiva il valore dell'ora precedente.

$$S = 254.1 \left( \frac{100}{75} - 1 \right) = 254.1 \cdot \left( \frac{100}{75} - 1 \right) = 254.1 \cdot 0.33 = 84.75 \text{ mm}$$

$$I_a = 0.1 \cdot 84.7 = 8.48 \text{ mm}$$

Ora 1:

L'altezza di precipitazione è pari a 5 mm. L'altezza di deflusso (in mm):

$$c = 0.1 \text{ e } P > 0.1S$$

$$5.0 < 8.48$$

$$\Rightarrow P_e = 0.0 \text{ mm}$$

Ora 2:

Si calcola l'altezza di precipitazione corrispondente alle prime due ore; si calcola quindi l'altezza di deflusso corrispondente alle prime due ore; il valore relativo alla seconda ora si calcola sottraendo all'altezza di deflusso corrispondente alla due ore quella relativa alla prima ora.

$$\text{Altezza di precipitazione} = 5 + 30.5 = 35.5 \text{ mm}$$

$$c = 0.1 \text{ e } P \geq 0.1S$$

$$35.5 > 8.48$$

$$\Rightarrow P_e = \frac{P - 0.1S}{P + 0.9S} = \frac{35.5 - 8.48}{35.5 + 76.23} = 6.54 \text{ mm}$$

Deflusso complessivo, relativo alle prime due ore = 6.54 mm.

Ora 3:

Si calcola l'altezza di precipitazione corrispondente alle prime tre ore; si calcola quindi l'altezza di deflusso corrispondente alle prime tre ore; il valore relativo alla terza ora si calcola sottraendo all'altezza di deflusso corrispondente alle tre ore quella relativa alle prime due ore.

Altezza di precipitazione = 5 + 30.5 + 23.5 = 59 mm

$$c = 0.1 \text{ e } P \geq 0.1S$$

$$59.0 > 8.48$$

$$\Rightarrow P_e = \frac{P - 0.1S}{P + 0.9S} = \frac{59.0 - 8.48}{59.0 + 76.23} = 18.88 \text{ mm}$$

Deflusso complessivo, relativo alle prime tre ore = 18.88 mm. Poiché il deflusso nelle due ore precedenti è pari a 6.54 mm, la quota di deflusso corrispondente alla terza ora è pari a 12.34 mm.

### Problema 9

Si consideri un evento di precipitazione, caratterizzato dal seguente ietogramma (si riportano i valori di precipitazione media areale cumulata durante le singole ore):

ora 1: 3.0 mm

ora 2: 10.5 mm

ora 3: 23.5 mm

Si calcoli il valore di deflusso (in mm), generato in ciascuna ora, utilizzando il metodo del CN (curve number), assumendo per CN un valore pari a 75 ed utilizzando per le perdite iniziali la relazione  $I_a = 0.2S$ .

Soluzione:

deflusso:

ora 1: 0 mm;

ora 2: 0 mm;

ora 3: 3.8 mm.

### Risoluzione del problema

Il calcolo viene effettuato ripetendo l'applicazione della formulazione per ciascuna cumulata oraria progressiva di pioggia, ottenendo la cumulata progressiva di deflusso, e quindi sottraendo a ciascuna cumulata progressiva il valore dell'ora precedente.

$$S = 254.1 \left( \frac{100}{75} - 1 \right) = 254.1 \cdot \left( \frac{100}{75} - 1 \right) = 254.1 \cdot 0.33 = 84.75 \text{ mm}$$

$$I_a = 0.2 \cdot 84.7 = 16.9 \text{ mm}$$

Ora 1:

L'altezza di precipitazione è pari a 3 mm. L'altezza di deflusso (in mm):

$$c = 0.2 \text{ e } P < 0.2S$$

$$3 < 16.9$$

$$\Rightarrow P_e = 0.0\text{mm}$$

Ora 2:

Si calcola l'altezza di precipitazione corrispondente alle prime due ore; si calcola quindi l'altezza di deflusso corrispondente alle prime due ore; il valore relativo alla seconda ora si calcola sottraendo all'altezza di deflusso corrispondente alla due ore quella relativa alla prima ora.

$$\text{Altezza di precipitazione} = 3 + 10.5 = 13.5\text{mm}$$

$$c = 0.2 \text{ e } P < 0.2S$$

$$13.5 < 16.9$$

$$\Rightarrow P_e = 0.0\text{mm}$$

Deflusso complessivo, relativo alle prima due ore = 0.0mm

Ora 3:

Si calcola l'altezza di precipitazione corrispondente alle prime tre ore; si calcola quindi l'altezza di deflusso corrispondente alle prime tre ore; il valore relativo alla terza ora si calcola sottraendo all'altezza di deflusso corrispondente alle tre ore quella relativa alle prime due ore.

$$\text{Altezza di precipitazione} = 3 + 10.5 + 23.5 = 37\text{mm}$$

$$c = 0.2 \text{ e } P \geq 0.2S$$

$$37 > 16.9$$

$$\Rightarrow P_e = \frac{P - 0.2S}{P + 0.8S} = \frac{37 - 16.9}{37 + 67.8} = 3.85\text{mm}$$

Deflusso complessivo, relativo alle prima tre ore = 3.85mm. Poichè il deflusso nelle due ore precedenti è pari a zero, la quota di deflusso corrispondente alla terza ora è pari a 3.85 mm.



### Problema 10

Si consideri un evento di precipitazione, caratterizzato dal seguente ietogramma (si riportano i valori di precipitazione media areale cumulata durante le singole ore):

ora 1: 15.0 mm

ora 2: 30.5 mm

ora 3: 13.5 mm

Si calcoli il valore di deflusso (in mm), generato in ciascuna ora, utilizzando il metodo del CN (curve number), assumendo per CN un valore pari a 75 ed utilizzando per le perdite iniziali la relazione  $I_a = 0.1S$ .

Soluzione:

deflusso:

ora 1: 0.46 mm;

ora 2: 10.8 mm;

ora 3: 7.62 mm.

### Risoluzione del problema

Il calcolo viene effettuato ripetendo l'applicazione della formulazione per ciascuna cumulata oraria progressiva di pioggia, ottenendo la cumulata progressiva di deflusso, e quindi sottraendo a ciascuna cumulata progressiva il valore dell'ora precedente.

$$S = 254.1 \left( \frac{100}{75} - 1 \right) = 254.1 \cdot \left( \frac{100}{75} - 1 \right) = 254.1 \cdot 0.33 = 84.75 \text{ mm}$$

$$I_a = 0.1 \cdot 84.7 = 8.47 \text{ mm}$$

Ora 1:

L'altezza di precipitazione è pari a 15 mm. L'altezza di deflusso (in mm):

$$c = 0.1 \text{ e } P \geq 0.1S$$

$$15 > 8.47$$

$$\Rightarrow P_e = \frac{P - 0.1S}{P + 0.9S} = \frac{15 - 8.47}{15 + 76.23} = 0.46 \text{ mm}$$

Ora 2:

Si calcola l'altezza di precipitazione corrispondente alle prime due ore; si calcola quindi l'altezza di deflusso corrispondente alle prime due ore; il valore relativo alla seconda ora si calcola sottraendo all'altezza di deflusso corrispondente alla due ore quella relativa alla prima ora.

$$\text{Altezza di precipitazione} = 15 + 30.5 = 45.5 \text{ mm}$$

$$c = 0.1 \text{ e } P \geq 0.1S$$

$$45.5 > 8.47$$

$$\Rightarrow P_e = \frac{P - 0.1S}{P + 0.9S} = \frac{45.5 - 8.47}{45.4 + 76.23} = 11.26 \text{ mm}$$

Deflusso complessivo, relativo alle prima due ore = 11.26 mm

Di questo,  $11.26 - 0.46 = 10.8$  mm si è formato nella seconda ora; per cui: deflusso formatosi nella seconda ora = 10.8 mm

Ora 3:

Si calcola l'altezza di precipitazione corrispondente alle prime tre ore; si calcola quindi l'altezza di deflusso corrispondente alle prime tre ore; il valore relativo alla terza ora si calcola sottraendo all'altezza di deflusso corrispondente alle tre ore quella relativa alle prime due ore.

Altezza di precipitazione =  $15 + 30.5 + 13.5 = 59$  mm

$$c = 0.1 \text{ e } P \geq 0.1S$$

$$59 > 8.47$$

$$\Rightarrow P_e = \frac{P - 0.1S}{P + 0.9S} = \frac{59 - 8.47}{59 + 76.23} = 18.88 \text{ mm}$$

Deflusso complessivo, relativo alle prime tre ore = 18.88 mm

Di questo,  $(18.8 - 11.26) = 7.62$  mm si è formato nella terza ora; per cui: deflusso formatosi nella terza ora = 7.62 mm.

## ***Problemi di calcolo dei quantili di precipitazione***

### ***Problema 11***

*Determinare la precipitazione di durata oraria con tempo di ritorno pari a 30 anni ( $P_{30}$ ) sulla base dei dati di precipitazione massima annuale ( $H_{max}$ ) riportati in tabella. Si usi la distribuzione di tipo Gumbel.*

#### ***Valori pioggia massima annuale***

***Durata: 1 ora***

<b><i>numero</i></b>	<b><i><math>H_{max}</math></i></b>
<b><i>1</i></b>	<b><i>18.4</i></b>
<b><i>2</i></b>	<b><i>8.6</i></b>
<b><i>3</i></b>	<b><i>9.0</i></b>
<b><i>4</i></b>	<b><i>11.2</i></b>
<b><i>5</i></b>	<b><i>13.4</i></b>
<b><i>6</i></b>	<b><i>10.4</i></b>
<b><i>7</i></b>	<b><i>10.4</i></b>
<b><i>8</i></b>	<b><i>13.0</i></b>
<b><i>9</i></b>	<b><i>16.2</i></b>
<b><i>10</i></b>	<b><i>10.4</i></b>
<b><i>11</i></b>	<b><i>15.4</i></b>
<b><i>12</i></b>	<b><i>8.4</i></b>
<b><i>13</i></b>	<b><i>9.8</i></b>
<b><i>14</i></b>	<b><i>23.6</i></b>
<b><i>15</i></b>	<b><i>18.0</i></b>

*Soluzione*

$P_{30}$ : 22.7 mm

Nota: il valore di precipitazione 30-nale non potrebbe essere determinato sulla base di una serie di numerosità pari a soli 15 anni (l'esempio è qui riportato solo per convenienza didattica). Si tenga presente che per determinare un quantile caratterizzato da tempo di ritorno TR, è bene disporre di una serie di numerosità pari a TR·2 (in questo caso, sarebbe necessario quindi disporre di almeno 60 anni di dati). Nel caso in cui serie così lunghe non siano disponibili, si devono utilizzare metodologie di tipo regionale (introdotte nei corsi più avanzati).

### ***Risoluzione del problema***

Vengono inizialmente calcolati media e varianza del campione, come segue.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 13.08mm$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 4.41mm$$

Vengono quindi calcolati i due parametri,  $\alpha$  e  $u$ , della distribuzione di Gumbel.

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} s = 3.44$$

$$u = \bar{x} - 0.577 \cdot \alpha = 11.09$$

Viene quindi calcolato il valore della variabile ridotta  $w$  corrispondente ad un tempo di ritorno  $T$ .

$$w_T = -\ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] = -\ln \left[ \ln \left( \frac{30}{29} \right) \right] = 3.38$$

Viene quindi calcolato il valore del quantile 30-nale nel modo seguente:

$$P_{30} = u + \alpha \cdot w_{30} = 22.7mm$$

### **Problema 12**

Determinare la precipitazione di durata oraria con tempo di ritorno pari a 100 anni ( $P_{100}$ ) sulla base dei dati di precipitazione massima annuale ( $H_{max}$ ) riportati in tabella. Si usi la distribuzione di tipo Gumbel.

#### **Valori pioggia massima annuale**

**Durata: 1 ora**

<b>numero</b>	<b><math>H_{max}</math></b>
<b>1</b>	<b>18.4</b>
<b>2</b>	<b>18.6</b>
<b>3</b>	<b>9.0</b>
<b>4</b>	<b>11.2</b>
<b>5</b>	<b>13.4</b>
<b>6</b>	<b>10.4</b>
<b>7</b>	<b>10.4</b>
<b>8</b>	<b>13.0</b>
<b>9</b>	<b>16.2</b>
<b>10</b>	<b>10.4</b>
<b>11</b>	<b>15.4</b>
<b>12</b>	<b>18.4</b>
<b>13</b>	<b>9.8</b>
<b>14</b>	<b>23.6</b>
<b>15</b>	<b>18.0</b>

*Soluzione*

$$P_{100}: 28.01mm$$

Nota: il valore di precipitazione 100-nale non potrebbe essere determinato sulla base di una serie di numerosità pari a soli 15 anni (l'esempio è qui riportato solo per convenienza didattica). Si tenga presente che per determinare un quantile caratterizzato da tempo di ritorno TR, è bene disporre di una serie di numerosità pari a TR·2 (in questo caso, sarebbe necessario quindi disporre di almeno 200 anni di dati). Nel caso in cui serie così lunghe non siano disponibili, si devono utilizzare metodologie di tipo regionale (introdotte nei corsi più avanzati).

**Risoluzione del problema**

Vengono inizialmente calcolati media e varianza del campione, come segue.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 14.4\text{mm}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 4.33\text{mm}$$

Vengono quindi calcolati i due parametri,  $\alpha$  e  $u$ , della distribuzione di Gumbel.

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} s = 3.38$$

$$u = \bar{x} - 0.577 \cdot \alpha = 12.46$$

Viene quindi calcolato il valore della variabile ridotta  $w$  corrispondente ad un tempo di ritorno  $T$ .

$$w_T = -\ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] = -\ln \left[ \ln \left( \frac{100}{99} \right) \right] = 4.6$$

Viene quindi calcolato il valore del quantile 100-nale nel modo seguente:

$$P_{100} = u + \alpha \cdot w_{100} = 28.01\text{mm}$$

## **Problemi di valutazione delle piene di progetto**

### **Problema 13**

Si consideri un bacino idrografico di estensione pari a  $50 \text{ km}^2$ , per il quale sia necessario calcolare il volume di deflusso complessivo corrispondente ad una precipitazione di progetto caratterizzata da tempo di ritorno di 50 anni. Il bacino è caratterizzato complessivamente da un valore di CN (numero di curva, procedura SCS) pari a 75.

La linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP) valida per il bacino e caratterizzata da tempo di ritorno di 50 anni è la seguente:

$$h = at^n$$

dove:

$$a = 45 \text{ mm h}^{-1}$$

$$n = 0.4.$$

La durata di precipitazione di interesse è pari a 4 ore. Le perdite iniziali vengono calcolate secondo la seguente relazione:  $I_a = 0.1S$ .

Si calcoli:

1. la precipitazione cumulata di progetto (in mm);
2. lo ietogramma di progetto (in  $\text{mm h}^{-1}$  e per intervalli orari, assumendo una forma ad intensità uniforme nel tempo – ietogramma rettangolare) ;
3. il valore di deflusso corrispondente (in mm);
4. il valore del coefficiente di deflusso (adimensionale).

Soluzione:

1. altezza precipitazione cumulata di progetto: 78.3 mm

2. ietogramma di progetto:

$$\text{ora 1: } 19.6 \text{ mm/h;}$$

$$\text{ora 2: } 19.6 \text{ mm/h;}$$

$$\text{ora 3: } 19.6 \text{ mm/h;}$$

$$\text{ora 4: } 19.6 \text{ mm/h.}$$

3. valore di deflusso: 31.6 mm

4. Coefficiente di deflusso: 0.403

### **Risoluzione del problema**

1. Calcolo della precipitazione cumulata di progetto

$$h_{50} = a \cdot t^n = 45 \cdot 4^{0.4} = 78.3 \text{ mm}$$

2. Calcolo dello ietogramma di progetto

$$h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = \frac{78.3}{4} = 19.6 \text{ mm}$$

3. Calcolo del valore di deflusso

$$S = 254 \cdot \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) = 254 \cdot 0.33 = 84.7 \text{ mm}$$

$$I_a = 0.1 \cdot S = 8.47 \text{ mm}$$

$$h_{50} \geq I_a \Rightarrow$$

$$P_e = \frac{h_{50} - I_a}{h_{50} - I_a + S} = 31.6 \text{ mm}$$

4. Calcolo del coefficiente di deflusso

$$C = \frac{P_e}{h_{50}} = \frac{31.6}{78.3} = 0.403$$

### Problema 14

Si consideri un bacino idrografico di estensione pari a  $10 \text{ km}^2$ , per il quale sia necessario calcolare il volume di deflusso complessivo corrispondente ad una precipitazione di progetto caratterizzata da tempo di ritorno di 50 anni. Il bacino è caratterizzato complessivamente da un valore di CN (numero di curva, procedura SCS) pari a 75.

La linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP) valida per il bacino e caratterizzata da tempo di ritorno di 50 anni è la seguente:

$$h = at^n$$

dove:

$$a = 60 \text{ mm h}^{-1}$$

$$n = 0.4.$$

La durata di precipitazione di interesse è pari a 1.5 ore. Le perdite iniziali vengono calcolate secondo la seguente relazione:  $I_a = 0.05S$ .

Si calcoli:

1. la precipitazione cumulata di progetto (in mm);
2. lo ietogramma di progetto ad intervalli di 30 min (in  $\text{mm h}^{-1}$  e per intervalli di 30', assumendo una forma ad intensità uniforme nel tempo – ietogramma rettangolare);
3. il valore di deflusso corrispondente (in mm);
4. il valore del coefficiente di deflusso (adimensionale).

Soluzione:

1. altezza precipitazione cumulata di progetto: 70.6 mm

2. ietogramma di progetto:

0-30: 47.1 mm/h;

31-60: 47.1 mm/h;

61-90: 47.1 mm/h;

3. valore di deflusso: 29.13 mm

4. Coefficiente di deflusso: 0.41



### **Risoluzione del problema**

1 Calcolo della precipitazione cumulata di progetto

$$h_{50} = a \cdot t^n = 60 \cdot 1.5^{0.4} = 70.6 \text{ mm}$$

2 Calcolo dello ietogramma di progetto

$$0 - 30 \text{ min} = 31 - 60 \text{ min} = 61 - 90 \text{ min} = \frac{70.6}{3} = 23.53 \text{ mm} \quad (\text{intensità: } 47.1 \text{ mm/h})$$

3 Calcolo del valore di deflusso

$$S = 254 \cdot \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) = 254 \cdot 0.33 = 84.70 \text{ mm}$$

$$I_a = 0.05 \cdot S = 4.24 \text{ mm}$$

$$h_{50} \geq I_a \Rightarrow$$

$$P_e = \frac{h_{50} - I_a}{h_{50} - I_a + S} = 29.13 \text{ mm}$$

4 Calcolo del coefficiente di deflusso

$$C = \frac{P_e}{h_{50}} = \frac{29.13}{70.6} = 0.41$$

### **Problema 15**

Si consideri un bacino idrografico di estensione pari a  $50 \text{ km}^2$ , per il quale sia necessario calcolare il volume di deflusso complessivo corrispondente ad una precipitazione di progetto caratterizzata da tempo di ritorno di 50 anni. Il bacino è caratterizzato complessivamente da un valore di CN (numero di curva, procedura SCS) pari a 75.

La linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP) valida per il bacino e caratterizzata da tempo di ritorno di 50 anni è la seguente:

$$h = at^n$$

dove:

$$a = 54 \text{ mm h}^{-1}$$

$$n = 0.45.$$

La durata di precipitazione di interesse è pari a 4 ore. Le perdite iniziali vengono calcolate secondo la seguente relazione:  $I_a = 0.1S$ .

Si calcoli:

1. la precipitazione cumulata di progetto (in mm);

2. lo ietogramma di progetto (in  $mm\ h^{-1}$  e per intervalli orari, assumendo una forma ad intensità uniforme nel tempo – ietogramma rettangolare) ;
3. il valore di deflusso corrispondente (in  $mm$ );
4. il valore del coefficiente di deflusso (adimensionale).

*Soluzione:*

1. altezza precipitazione cumulata di progetto:  $100.8\ mm$

2. ietogramma di progetto:

ora 1:  $25.2\ mm/h$ ;

ora 2:  $25.2\ mm/h$ ;

ora 3:  $25.2\ mm/h$ ;

ora 4:  $25.2\ mm/h$ .

3. valore di deflusso:  $48.2\ mm$

4. Coefficiente di deflusso:  $0.48$

### **Risoluzione del problema**

1 Calcolo della precipitazione cumulata di progetto

$$h_{50} = a \cdot t^n = 54 \cdot 4^{0.45} = 100.8\ mm$$

2 Calcolo dello ietogramma di progetto

$$h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = \frac{100.8}{4} = 25.2\ mm$$

3 Calcolo del valore di deflusso

$$S = 254 \cdot \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) = 254 \cdot 0.3 = 84.7\ mm$$

$$I_a = 0.1 \cdot S = 8.47\ mm$$

$$h_{50} \geq I_a \Rightarrow$$

$$P_e = \frac{h_{50} - I_a}{h_{50} - I_a + S} = 48.2\ mm$$

4 Calcolo del coefficiente di deflusso

$$C = \frac{P_e}{h_{50}} = \frac{48.2}{100.8} = 0.48$$

## Problemi di valutazione delle piene di progetto: metodo razionale

### Problema 16

Si applichi il metodo razionale per risolvere il seguente problema: Determinare la portata al picco con tempo di ritorno pari a 50 anni per un bacino di area pari a  $8 \text{ km}^2$ , con coefficiente di deflusso pari a 0.75 e tempo di corruzione pari a 2 ore.

La curva segnalatrice di probabilità pluviometrica, per tempo di ritorno pari a 50 anni, è la seguente:

$$h = 28.5t^{0.45}$$

Soluzione

$$Q_{50} = 32.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

### Risoluzione del problema

#### Sviluppo:

1. Si calcola l'altezza di precipitazione di progetto, valida per  $T_r=50$  anni e corretta per il ragguaglio all'area

$$h_{50} = 28.5 \cdot 2^{0.45} = 38.9 \text{ mm}$$

2. Si calcola la portata di progetto al picco tramite il metodo razionale

$$A = 8 \cdot 10^6 \text{ m}^2$$

$$t = 2 \text{ ore} = 2 \cdot 3600 \text{ sec}$$

$$h = 38.9 \text{ mm} = 38.9 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$c = 0.75$$

$$Q = C \frac{A \cdot h_{50}}{t} = 0.75 \frac{8 \cdot 10^6 \cdot 38.9 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3.6 \cdot 10^3} = 0.75 \frac{31.1 \cdot 10^{7-3-3}}{7.2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 0.75 \frac{311}{7.2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 32.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

### Problema 17

Si applichi il metodo razionale per risolvere il seguente problema: Determinare la portata al picco con tempo di ritorno pari a 50 anni per un bacino di area pari a  $20 \text{ km}^2$ , con coefficiente di deflusso pari a 0.75 e tempo di corrivazione pari a 4 ore.

La curva segnalatrice di probabilità pluviometrica, per tempo di ritorno pari a 50 anni, è la seguente:

$$h = 30t^{0.45}$$

Soluzione

$$Q_{50}: \quad 58.31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

### Risoluzione del problema

**Sviluppo:**

1. Si calcola l'altezza di precipitazione di progetto, valida per  $Tr=50$  anni

$$h = 30 \cdot 4^{0.45} = 55.98 \text{ mm}$$

2. Si calcola la portata di progetto al picco tramite il metodo razionale

$$A = 20 \cdot 10^6 \text{ m}^2$$

$$t = 4 \text{ ore} = 4 \cdot 3600 \text{ sec}$$

$$h = 55.98 \text{ mm} = 55.98 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$c = 0.75$$

$$Q = C \frac{A \cdot h_{50}}{t} = 0.75 \frac{20 \cdot 10^6 \cdot 55.98 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 3.6 \cdot 10^3} = 0.75 \frac{111.96 \cdot 10^{7-3-3}}{14.4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 0.75 \frac{1119.6}{14.4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 58.31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$